

**Verfahren und Vorrichtung zum Schleifen von unrundern Werkstücken**

**Patent number:** DE4235408  
**Publication date:** 1994-04-28  
**Inventor:** MUSHARDT HEINRICH DR (DE)  
**Applicant:** SCHAUDT MASCHINENBAU GMBH (DE)  
**Classification:**  
- **international:** B24B19/12  
- **european:** B24B19/12, B24B21/16  
**Application number:** DE19924235408 19921021  
**Priority number(s):** DE19924235408 19921021

**Also published as:**

JP6190706 (A)  
GB2271731 (A)

Abstract not available for DE4235408

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑩ **Offenlegungsschrift**  
**DE 42 35 408 A 1**

⑥1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 24 B 19/12**

②1 Aktenzeichen: P 42 35 408.0  
②2 Anmeldetag: 21. 10. 92  
④3 Offenlegungstag: 28. 4. 94

DE 42 35 408 A 1

⑦1 Anmelder:  
Schaudt Maschinenbau GmbH, 70329 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Mushardt, Heinrich, Dr., 21039 Neu-Börnsen, DE

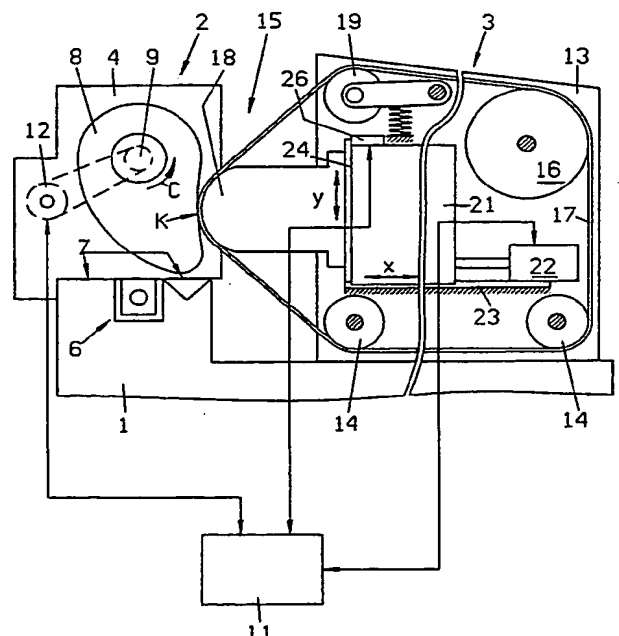
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 33 16 662 C2  
DE-PS 8 29 411  
DE 40 03 409 A1  
DE 30 24 433 A1  
CH 2 69 578

WEDENIWSKI, H.J.: Prozeßrechnergesteuertes  
Produktions-Nockenschleifen. In: Werkstatt und  
Betrieb, 118, 1985, 8, S.443-448;  
JP 2-269550 A. In: Patents Abstracts of Japan,  
M-1072, Jan.23, 1991, Vol.15, No.28;

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Schleifen von unrunder Werkstücke

⑤7 Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schleifen unrunder Konturen an rotierenden Werkstücken, insbesondere an den Nocken einer Nockenwelle beschrieben. Das Werkstück (8) ist in eine Werkstückaufnahme (2) bearbeitungsgerecht eingespannt und wird um seine C-Achse gedreht. Die Schleifeinheit (15) ist quer zur C-Achse in X-Richtung bewegbar und wird in Abhängigkeit von der Drehwinkelposition des Werkstücks (8) zur Formgebung hin und her gefahren, wobei sich die Kontaktzone (K) zwischen Werkstück und Werkzeug an der zu erzeugenden Umfangskontur des Werkstücks entlangbewegt. Es ist die Aufgabe gestellt, die Werkstückbearbeitung zu optimieren. Dazu ist das Schleifwerkzeug (15) in einer zweiten, quer zur C- und X-Richtung verlaufenden Maschinenachse (Y) verfahrbar. Das Werkstück (8) wird mit konstanter Winkelgeschwindigkeit gedreht und das Schleifwerkzeug (15) wird in Abhängigkeit von der Winkellage des Werkstücks in den Richtungen X und Y so bewegt, daß die Kontaktzone (K) am Werkstückumfang einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil folgt. Dieses Verfahren eignet sich besonders für das gleichzeitige Schleifen mehrerer Nocken einer Nockenwelle mit mehreren Schleifwerkzeugen.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 03. 94 408 017/36

14/39

DE 42 35 408 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schleifen von unrunnen Werkstücken, insbesondere von Nocken einer Nockenwelle gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie betrifft weiter eine Vorrichtung zum Schleifen unrunder Konturen an rotierenden Werkstücken gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 11.

Zum Schleifen der Nocken einer rotierenden Nockenwelle oder anderer rotierend eingespannter unrunder Werkstücke werden heute CNC-Maschinen mit einer Werkstückhalterung, in welcher die Nockenwelle um ihre Achse (C-Achse) drehbar gehalten ist, und einem Schleifkopf mit einer rotierenden Schleifscheibe, der zur Formgebung und für die Zustellbewegung in einer quer zur Werkstückachse verlaufenden Maschinenachse (X-Achse) in Abhängigkeit von der Winkellage des Werkstücks verfahrbar geführt ist, eingesetzt. Um für die Schleifbearbeitung des Werkstücks optimale Bedingungen zu schaffen, wird die Winkelgeschwindigkeit der Werkstückrotation so gesteuert, daß sie einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil folgt. Gewöhnlich wird die Drehgeschwindigkeit in den schleiftechnisch unproblematischen Bereichen des Nockengrundkreises und seiner Spitze relativ hoch und in den kritischen Flankenbereichen niedriger gewählt. Damit wird jeweils ein optimaler Verlauf der Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone von Werkstück und Schleifwerkzeug an der Werkstückkontur entlang vorgegeben. Auf diese Weise kann das Zeitspannungsvolumen beim Schleifen der Nockenkontur beeinflussen, insbesondere konstant gehalten werden, was gleichzeitig der Werkstückqualität und der Produktivität der Werkstückbearbeitung zugute kommt.

Dieses Vorgehen bewährt sich nur solange, wie immer nur ein Nocken oder mehrere Nocken gleicher Winkellage einer Nockenwelle gleichzeitig bearbeitet werden. Sollen mit mehreren Werkzeugen mehrere Nocken unterschiedlicher Winkellage gleichzeitig geschliffen werden, kann das Werkstück nicht mehr mit einer einem bestimmten Geschwindigkeitsprofil folgenden Rotationsgeschwindigkeit gedreht werden, weil die Nocken unterschiedlicher Winkellage kein übereinstimmendes Geschwindigkeitsprofil zulassen. Das Werkstück wird also mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit gedreht, deren Größe sich an dem relativ niedrigen Höchstwert in den kritischsten Flankenbereichen der Nocken orientiert, um qualitativ einwandfreie Ergebnisse zu erzielen.

Dies betrifft insbesondere Bandschleifmaschinen zum Nockenschleifen, die mehrere Schleifbaineinheiten zum gleichzeitigen Bearbeiten mehrerer, insbesondere aller Nocken einer Nockenwelle aufweisen. Eine solche Bandschleifmaschine ist beispielsweise in der US-PS 4 833 834 beschrieben. Dort wird eine Nockenwelle mit konstanter Drehgeschwindigkeit angetrieben, während die Schleifbänder gegen die Nocken drückenden Andruckelemente in der X-Achse der Maschine die von den jeweiligen Winkelstellungen der Werkstücke abhängigen formgebenden Bewegungen ausführen und die notwendigen Zustellbewegungen überlagern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art weiter zu verbessern. Insbesondere soll die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Nocken einer Nockenwelle mit mehreren Werkzeugen optimiert werden.

Bei einem Verfahren der eingangs angegebenen Art wird diese Aufgabe erfindungsgemäß mit dem im Kenn-

zeichen des Anspruchs 1 enthaltenen Maßnahmen gelöst. Die danach vorgesehene zusätzliche Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück in einer zweiten Richtung, die quer zur ersten linearen Bewegungsrichtung und quer zur Rotationsachse des Werkstücks verläuft, ermöglicht in sehr vorteilhafter Weise eine Beeinflussung der Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone zwischen Werkstück und Werkzeug, mit der das Zeitspannungsvolumen entlang der Werkstückkontur optimiert werden kann.

Weiterführungen der Erfindung und vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 10 enthalten. Die Ansprüche 2 bis 4 enthalten Merkmale der Steuerung der Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück zur Beeinflussung der Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone entlang der Umfangsfläche des Werkstücks. Durch die Steuerung der Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück kann die Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone konstant gehalten werden, was gegenüber der Bearbeitung des mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotierenden Werkstücks ohne die zusätzliche Ausgleichsbewegung in Richtung der zweiten Maschinenachse (Y-Achse) wegen der möglichen höheren durchschnittlichen Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone einen Produktivitätszuwachs bewirkt. Ein weiterer Produktivitätszuwachs ergibt sich, wenn für die Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone gemäß Anspruch 4 ein von der Winkellage des Werkstücks abhängiges Geschwindigkeitsprofil vorgegeben wird, welches im Bereich des Grundkreises und im Bereich der Nockenspitze eine erhebliche Erhöhung der Bahngeschwindigkeit vorsieht. Dabei kann die Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück in der ersten und der zweiten Richtung so gesteuert werden, daß das Zeitspannungsvolumen bei jeder Werkstückumdrehung wenigstens angenähert konstant ist.

Die Maßnahmen nach Anspruch 6 ermöglichen die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer unrunder Werkstückabschnitte eines rotierenden Werkstücks unter separater Steuerung der Relativbewegungen von Werkzeugen und Werkstücken. Diese wirken sich besonders produktivitätsfördernd bei der Bearbeitung von Nockenwellen für Kraftfahrzeugmotoren aus. Die Ansprüche 7 und 8 beziehen sich auf Optimierungen der Schleifbearbeitung durch Überwachung, Begrenzung und/oder Beeinflussung der Andruckkraft des Schleifwerkzeugs gegen das Werkstück. Anspruch 9 enthält eine nützliche Verfahrensmaßnahme, während Anspruch 10 die Optimierung des Feinschleifens der Werkstücke betrifft. Die Steuerung der Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück zur Lagefixierung der Kontaktzone relativ zum Schleifwerkzeug wirkt sich positiv auf die Formgebung des Werkstücks aus.

Bei einer Vorrichtung der eingangs angegebenen Art wird die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruchs 11 enthaltenen Merkmale gelöst. Weiterführungen der Erfindung sowie vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen 12 bis 22 enthalten. Die Ansprüche 12 bis 14 enthalten Merkmale, die die Steuerung der Bewegungen des Werkstücks und des Schleifwerkzeugs und ihrer Geschwindigkeiten enthalten. Die Ansprüche 15 bis 17 geben bevorzugte Schleifwerkzeuge an. Die Ansprüche 19 bis 22 beziehen sich auf bevorzugte Merkmale einer Schleifwerkzeughalterung, die den Betrieb der Vorrichtung verbessern und zu einer sicheren Gewährleistung guter Schleifergebnisse führen.

Die Erfindung bietet den Vorteil eines neuen Verfahrens zum Schleifen von Nocken. Dabei ist die Möglichkeit besonders vorteilhaft, mehrere in verschiedene Winkelrichtungen orientierte Nocken einer Nockenwelle gleichzeitig zu schleifen und dabei zu hohen Produktivitäten zu kommen. Durch die Steuerung der Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück in zwei quer zueinander verlaufenden Richtungen gemäß der Erfindung wird das Geschwindigkeitsprofil der Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone beeinflussbar und optimierbar. Dieses Geschwindigkeitsprofil der Bahngeschwindigkeit kann so vorgegeben werden, daß das Zeitspannungsvolumen beim Umlauf des Werkstücks wenigstens weitgehend konstant ist. Damit werden bei höherer Leistungsfähigkeit der Maschine und des Verfahrens bessere Werkstückqualitäten erreicht.

Die Erfindung wird nun anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Bandschleifmaschine als Ausführungsbeispiel der Vorrichtung nach der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht,

Fig. 2 eine Teilansicht einer Schleifmaschine zum gleichzeitigen Bearbeiten zweier Nocken,

Fig. 3 eine vergrößerte Darstellung des Werkstücks und des Werkzeugs im Schleifprozeß zur Erläuterung des Verfahrens,

Fig. 3a bis c die Darstellung verschiedener Arbeitspositionen von Werkstück und Werkzeug relativ zueinander,

Fig. 3d ein Weg-Zeit-Diagramm der Bewegung in der Y-Achse,

Fig. 3e ein Weg-Zeit-Diagramm der Relativbewegung in der X-Achse,

Fig. 3f eine Darstellung der Bewegungsbahn des Schleifwerkzeugs in der X- und der Y-Achse bei einer Werkstück-Umdrehung und

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Schleifwerkzeugträgers mit Andruckbegrenzung und Dämpfung der Entlastungsbewegung.

In Fig. 1 ist als Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Bandschleifmaschine schematisch in einer Seitenansicht dargestellt. Auf einem Maschinenbett 1 sind einander gegenüber eine Werkstückaufnahme 2 und eine Bandschleifeinheit 3 angeordnet. Von der Werkstückaufnahme 2 ist nur der Werkstückspindelstock 4 gezeigt, während ein gegenüberliegender Reitstock und eventuell vorhandene Setzstöcke der besseren Übersichtlichkeit halber weggelassen sind. Die Werkstückaufnahme 2 ist mittels eines Spindeltriebs 6 in einer Längsführung 7 auf dem Maschinenbett 1 in Achsrichtung eines in die Werkstückaufnahme 2 eingespannten Werkstücks 8 verfahrbar. Das Werkstück 8 liegt in Form einer Nockenwelle vor, von der in der Zeichnung eine Nocke dargestellt ist. Zur Bearbeitung wird das Werkstück 8 um seine Achse 9, die C-Achse, mittels eines mit einer Steueranordnung 11 verbundenen Motors 12 gedreht. Die Drehzahl der Werkstückumdrehung wird von der Steueranordnung 11 konstant geregelt. Die aktuelle Winkellage des Werkstücks wird erfaßt und in der Steueranordnung 11 zu entsprechenden Winkelsignalen verarbeitet. Angedeutet ist dies in der Zeichnung durch die mit zwei Pfeilen versehene Verbindungslinie zwischen dem Antrieb 12 und der Steueranordnung 11.

Die Bandschleifeinheit 3 weist einen Träger 13 mit Bandführungsrollen 14 und einer Antriebsrolle 16 auf, die von einem nichtdargestellten Motor angetrieben wird. Über die Rollen 14 und 16 läuft ein Schleifband 17 um, das über ein Stützelement 18 und eine federbelaste-

te Spannrolle 19 geführt ist. Das Stützelement 18 drückt das Schleifband 17 mit der erforderlichen Schleifkraft gegen die zu schleifende Kontur des Werkstücks 8. Dazu ist das Stützelement 18 an einem Werkzeughalter 21 angebracht, der mittels eines Antriebes 22 in einer Längsführung 23 quer, im dargestellten Fall senkrecht zur Werkstückachse (C-Achse der Maschine) in Richtung einer zweiten Maschinenachse (X-Achse) verfahrbar ist. Der X-Achsenantrieb 22 des Werkzeughalters 21 ist mit der Steueranordnung 11 verbunden, so daß er zum Ausführen der formgebenden Bewegung des Werkzeugs 17, 18 in Abhängigkeit von der Winkellage des Werkstücks 8 steuerbar ist. Bandschleifmaschinen dieses Aufbaus sind prinzipiell bekannt, so daß bezüglich näherer Einzelheiten beispielsweise auf die US-PS 4 833 834 oder die US-PS 4 945 683 verwiesen werden kann.

Im Fall der vorliegend beschriebenen Bandschleifmaschine weist der Werkzeughalter 21 eine senkrecht zur ersten Längsführung 23 vertikal verlaufende zweite Längsführung 24 auf, welche eine zweite lineare Maschinenachse, die Y-Achse, definiert. In dieser zweiten Längsführung 24 ist das Stützelement 18 in Y-Richtung beweglich geführt. Als Antrieb dient ein Motor 26, der zur drehwinkelabhängigen Steuerung der Y-Bewegung des Werkzeugs 18 wieder mit der Steueranordnung 11 verbunden ist.

Die Steuerung der zusätzlichen Y-Bewegung des Werkzeugs 18 erfolgt in Abstimmung mit der X-Bewegung und der Drehbewegung des Werkstücks so, daß die Bahngeschwindigkeit  $v$  der Kontaktzone  $K$  zwischen dem Schleifwerkzeug 17, 18 und der Oberfläche des Werkstücks 8 einem vorgegebenen Verlauf folgt, bei der vollständigen Umdrehung des Werkstücks 8 beispielsweise konstant ist. Dieser Vorgang wird später näher beschrieben.

In Fig. 2 ist ein anderes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung nach der Erfindung in einer perspektivischen Ansicht schematisch dargestellt. In dieser Figur sind nur die für den Schleifprozeß erforderlichen Funktionselemente einer Nockenschleifmaschine enthalten. Als Werkstück 8 ist ein Abschnitt einer Nockenwelle mit zwei benachbarten Nocken 8a und 8b gezeigt. Mit dem Motor 12 wird die Nockenwelle in eine Umdrehung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit versetzt. Jedem der Nocken 8a und 8b ist eine Schleifeinheit 27a bzw. 27b zugeordnet, die identisch aufgebaut sind. Jede Schleifeinheit weist ein Schleifwerkzeug in Gestalt einer Schleifscheibe 28a bzw. 28b auf. Jede Schleifscheibe 28a bzw. 28b ist an einem Werkzeughalter 29 gelagert und auf einem Werkzeugträger 31 mittels eines Antriebes 32 in Richtung der X-Achse der Maschine verfahrbar. Die Drehantriebe der Schleifscheiben 28a bzw. 28b sind der Einfachheit halber nicht dargestellt. Die Antriebe 32 sind mit der Steueranordnung 11 verbunden, so daß sie in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Winkellagen der Nocken 8a und 8b separat steuerbar sind.

Die Schleifwerkzeuge 28a und 28b sind auch in dieser Ausführungsform der Maschine in einer senkrecht zur X-Richtung verlaufenden Y-Richtung bewegbar. Dazu sind die Werkzeugträger 31 an einer Welle 33 gelagert und mittels Steuernocken 34 um die Achse der Welle 33 schwenkbar, wodurch sich die Bewegung der Schleifscheiben in Y-Richtung ergibt. Die Steuernocken 34 werden in Abhängigkeit von der Winkellage der zu bearbeitenden Nocken 8a und 8b von Antrieben 36 gedreht. Die Steuernocken 34 können unter entsprechendem Winkelversatz auf einer gemeinsamen Welle von

einem gemeinsamen Motor 36 angetrieben sein, sie können aber auch, wie in Fig. 2 gezeigt, von separaten Motoren separat angetrieben werden, um eine individuelle Bearbeitung der Nocken 8a und 8b zu ermöglichen.

Das mit der dargestellten Vorrichtung auszuführende Schleifverfahren wird unter Bezugnahme auf die Fig. 3 und 3a bis f näher erläutert. Es wird davon ausgegangen, daß das Werkstück oder die zu bearbeitenden Werkstücke 8 mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um ihre Achse in C-Richtung rotieren. Dabei wird während eines jeden Zeitinkrements  $\Delta t$  ein Winkelschritt  $\Delta\alpha$  zurückgelegt. In Abhängigkeit von der jeweiligen Winkelstellung des Werkstücks 8 wird das Schleifwerkzeug 15 zur Erzeugung der gewünschten Nockenform und für die Zustellung des Werkzeugs in den beiden Maschinenachsen X und Y bewegt. Die Bewegung des Schleifwerkzeugs 15 in den Achsen X und Y ist durch die Steueranordnung 11 so gesteuert, daß die Kontaktzone K zwischen Schleifwerkzeug und Werkstückkontur während gleicher Zeitinkremente gleiche Bahnabschnitte  $\Delta l$  zurücklegt. Während sich also das Werkstück 8 um einen Winkelschritt  $\Delta\alpha$  dreht, bewegt sich die Kontaktzone K auf dem Werkstückumfang an der gewünschten Kontur entlang durch einen Bahnabschnitt  $\Delta l$  weiter.

Fig. 3a zeigt die Ausgangssituation von Werkstück 8 und Werkzeug 15 am Beginn einer Werkstückumdrehung. Die Kontaktzone K befindet sich an der Werkstückkontur in der Position K1. Der für die Bewegung des Werkzeugs 15 angenommene Bezugspunkt der Mittelpunkt M der Werkzeugkrümmung, befindet sich in der Nullposition P1 des Koordinatensystems der Maschinenachsen X und Y. In Fig. 3b ist das Werkstück 8 in einem Zeitintervall  $\Delta t_1$  um einen Winkelschritt  $\Delta\alpha_1$  in Pfeilrichtung c weitergedreht, während das Werkzeug 15 in den Maschinenachsen X und Y so bewegt wurde, daß sich die Kontaktzone K am Werkstückumfang in der Position K2 und der Krümmungsmittelpunkt M in der Position P2 befinden. Der Abstand zwischen den Positionen K1 und K2 der Kontaktzone K ist gerade der Bahnabschnitt  $\Delta l$ . Nach einer weiteren Drehung des Werkstücks 8 um einen Winkelschritt  $\Delta\alpha_2$  befindet sich die Kontaktzone K in der Position K3 am Umfang des Werkstücks und der Krümmungsmittelpunkt des Werkzeugs ist durch Verfahren des Werkzeugs in der X- und Y-Richtung in die Position P3 gewandert. Zwischen den Kontaktzonenpositionen K2 und K3 hat die Kontaktzone wieder den Bahnabschnitt  $\Delta l$  zurückgelegt. Diese Situation ist in der Fig. 3c verdeutlicht.

Der nächste Schritt, der in Fig. 3 dargestellt ist, zeigt im einzelnen den Ablauf des erfindungsgemäß vorgeschlagenen neuen Schleifverfahrens. Ausgehend von der in Fig. 3c gezeigten relativen Position von Werkstück und Schleifwerkzeug, in der sich die Kontaktzone K in der Position K3 am Umfang des Werkstücks befindet, wird das Werkstück 8 wieder um einen Winkelschritt  $\Delta\alpha_3$  weitergedreht. Wäre das Schleifwerkzeug 15 nur in der X-Achse bewegbar, so würde die Kontaktzone K bei dieser Drehung  $\Delta\alpha_3$  in die Position Z am Umfang des Werkstücks wandern. Das entspricht einer Position PZ des Mittelpunkts der Schleifwerkzeugkrümmung auf der X-Achse. Der von der Kontaktzone K dabei zurückgelegte Weg ist ersichtlich größer als der vorgegebene Bahnabschnitt  $\Delta l$ . Das beruht darauf, daß sich die Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone K am Umfang eines Nockens bei konstanter Winkelgeschwindigkeit des Nockens in den Flankenbereichen erhöht. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird dem entgegen gewirkt, indem der Bewegung des Werkzeugs in der

X-Achse eine Korrekturbewegung in der Y-Achse überlagert wird. Während der Ausführung des Winkelschritts  $\Delta\alpha_3$  wird also gleichzeitig der Krümmungsmittelpunkt M des Werkzeugs 15 zusätzlich in der Richtung der Y-Achse bewegt, so daß er am Ende des Winkelschritts  $\Delta\alpha_3$  die Position P4 einnimmt. Damit wird die Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone entlang der Umfangskontur des Werkstücks so herabgesetzt, daß die Kontaktzone am Ende des Winkelschritts  $\Delta\alpha_3$  die Position K4 am Werkstück einnimmt, die von der vorausgehenden Kontaktzonenposition K3 den Abstand  $\Delta l$  hat. Auf diese Weise erreicht die Kontaktzone K bei der Fortsetzung der Drehung des Werkstücks 8 in aufeinanderfolgenden Winkelschritten  $\Delta\alpha$  nacheinander immer gerade die Positionen  $K_n$  ( $1 \leq n \leq 24$ ) am Umfang des Werkstücks. Die Anzahl von 24 Schritten der Drehung des Werkstücks 8 ist natürlich willkürlich nur für die Beschreibung des Schleifverfahrens angegeben. In der Realität sind die Winkelschritte  $\Delta\alpha$  natürlich wesentlich kleiner und damit ist die Zahl der am Umfang des Werkstücks in gleichem Abstand hintereinander folgenden Positionen der Kontaktzone wesentlich größer.

Fig. 3d zeigt ein Beispiel eines Zeit-Wegdiagramms der Werkzeugbewegung in der Y-Achse. Dabei sind in der Zeitachse des Diagramms die aufeinanderfolgenden Positionen des Krümmungsmittelpunktes M des Werkzeugs numeriert. Zwischen zwei solchen Positionen liegt, wie oben beschrieben, jeweils ein Zeitintervall  $\Delta t$  konstanter Länge. Fig. 3e zeigt ein eben solches Zeit-Wegdiagramm der Werkzeugbewegung in der X-Achse. Die Diagramme in den Fig. 3d und e geben also schematisch an, wie die Steuerung der Antriebe des Werkzeugs in der X- und Y-Achse zu programmieren ist, um die gewünschte konstante Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone an der Werkstückoberfläche zu erlangen. Fig. 3f zeigt eine Bahnkurve 37 des Bezugspunktes M eines Schleifwerkzeugs 15, das beim Bearbeiten eines Nockens 8 entsprechend dem vorgeschlagenen und beschriebenen Verfahren während einer Nockenumdrehung vom Bezugspunkt M des Schleifwerkzeugs 15 durchlaufen wird. Dabei erreicht der Bezugspunkt M, der Mittelpunkt der Werkzeugkrümmung, die angegebenen Positionen immer dann, wenn die Kontaktzone K ihre mit den gleichen Nummern versehenen Positionen am Werkstückumfang einnimmt. In der Fig. 3f ist als Schleifwerkzeug 15 eine Schleifscheibe 28 dargestellt.

In der beschriebenen Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung wird eine konstante Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone K am Umfang des Werkstücks angenommen. Vorteilhaft kann es sein, der Bahngeschwindigkeit einen bestimmten Verlauf entlang dem Umfang des Werkstücks zu geben. Damit kann erreicht werden, daß das Zeitspannungsvolumen bei der Konturbearbeitung des Werkstücks konstant bleibt. In dem Falle weist die Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone in den einzelnen Phasen der Schleifbearbeitung unterschiedliche Werte auf, was sich dann in unterschiedlich beabstandeten Kontaktzonenpositionen K1 bis  $K_n$  ausdrückt.

Den beschriebenen Ablauf der Relativbewegung von Werkstück und Werkzeug für die Formgebung der Werkstückkontur kann in bekannter Weise eine Zustellungsbewegung des Werkzeugs überlagert werden.

Es kann sich als notwendig erweisen, an das beschriebene Vorgehen beim Konturerzeugen des Werkstücks eine Schlichtphase anzuschließen, bei der die Oberfläche des Werkstücks feinbearbeitet wird. In dieser Schlichtphase läßt sich die Relativbewegung von Werk-

zeug und Werkstück in der Y-Achse der Maschine so modifizieren, daß die Kontaktzone von Werkstück und Werkzeug relativ zum Werkzeug ortsfest bleibt oder in einem stark begrenzten Winkelbereich des Werkzeugs erhalten bleibt. Damit kann die Formgenauigkeit der erzeugten Werkstückkontur in der Schlichtphase erhöht werden.

Das Schleifen von mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotierenden Nocken mit einem nur in der X-Richtung der Maschine bewegten Werkzeug führt im zu erwartenden Kraftverlauf zu Kraftspitzen beim Bearbeiten der Nockenflanken. Durch die zusätzliche Bewegung von Werkstück und Werkzeug relativ zueinander in der Y-Richtung der Maschine werden derartige Kraftspitzen vermieden, so daß sich ein gleichmäßigeres Kraftniveau beim Eingriff des Schleifwerkzeugs in das Material des Werkstücks bei jedem Werkstückumlauf ergibt. Eine weitere Optimierung der Schleifbearbeitung ist bei dem vorgeschlagenen Verfahren dadurch möglich, daß die bei aufeinanderfolgenden Winkelschritten der Werkstückumdrehung von der Kontaktzone zurückzulegenden Bahnabschnitte unterschiedlich lang gewählt werden, wodurch sich am Umfang des Werkstücks ein Geschwindigkeitsprofil der Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone ergibt. Dadurch können nicht nur die bekannten Kraftspitzen bei der Bearbeitung der Nockenflanken geglättet werden, sondern es können auch unterschiedliche Materialeigenschaften über dem Nockenumfang sowie unterschiedliche Materialverteilungen berücksichtigt und kompensiert werden. Aus gleichmäßigeren und in Spitzenwerten niedrigeren Bearbeitungskräften ergeben sich Vorteile, da die Werkzeuge und die Werkstücke weniger hoch beansprucht werden. Diese Vorteile können auch in verkürzte Bearbeitungszeiten umgesetzt werden.

In Fig. 4 ist schematisch in einer Schnittansicht ein spezieller Werkzeughalter 38 dargestellt, welcher sicherstellt, daß die Andruckkraft des Schleifwerkzeugs 15 am Werkstück in zulässigen Grenzen bleibt. Der Werkzeughalter 38 ist in X-Richtung verfahrbar auf einem Werkzeugträger 39 geführt, der vertikal in Y-Richtung (nicht gezeigt) verfahrbar ist. Das Werkzeug 15, im dargestellten Fall ein Stützelement 18 für ein Schleifband 17 einer Bandschleifmaschine, wird mittels einer Spanneinrichtung 41 in seiner Schleifposition gehalten. Das Stützelement 18 weist an seinem rückwärtigen Ende einen Kolben 42 auf, der in einem Zylinder 43 gegen die Kraft einer Feder 44 in X-Richtung bewegbar ist. Die Feder 44 drückt den Kolben 42 mit einer vorgegebenen Vorspannkraft gegen einen Anschlagring 46 und hält ihn dort solange fest, bis die Andruckkraft des Werkzeugs 18 gegen ein Werkstück die Vorspannkraft übersteigt. In diesem Fall führt das Schleifwerkzeug 15 in X-Richtung eine Entlastungsbewegung gegen die Federkraft 44 aus. Auf diese Weise werden die Bearbeitungskräfte mit einer definierten Kraft-Weg- und Weg-Zeit-Charakteristik begrenzt.

In dem Zylinder 43 ist ein Dämpfungsmedium enthalten, das bei einer Entlastungsbewegung des Schleifwerkzeugs 15 durch eine Verbindungsleitung 54 mit einem Rückschlagventil 51 in ein Ausweichvolumen 49 verdrängt wird. Wird als Dämpfungsmedium eine Flüssigkeit verwendet, ist zusätzlich zu dem Ausweichbehälter ein Ausgleichsbehälter vorgesehen, der in Fig. 4 nicht dargestellt ist. Das Rückschlagventil 51 verhindert, daß bei nachlassender Bearbeitungskraft bzw. Andruckkraft des Werkzeugs 15 am Werkstück das Ausweichvolumen wieder frei in den Zylinder zurückströmt. Es muß

den Weg über ein Drosselventil 48 in einer Rückflußleitung 47 nehmen. Dadurch kann die Rückstellung des Schleifwerkzeugs 15 mit begrenzter einstellbarer Geschwindigkeit erfolgen. Das Drosselventil 48 kann nach Art einer Endlagendämpfung in die Kolbenfläche und den Zylinder integriert werden.

Alternativ oder zusätzlich zu der Spanneinrichtung 41 kann ein Druckmeßelement bzw. Kraftmeßelement 52 mit dem Schleifwerkzeug 15 verbunden sein, welches die Andruckkraft bzw. Bearbeitungskraft mißt. Dieses Druckmeßelement 52 ist mit einer Auswertanordnung 53 verbunden, welche an die Maschinensteuerung 11 Signale abgibt, die den Bearbeitungsdruck des Schleifwerkzeugs 15 entsprechen. Diese Signale können beispielsweise für die Steuerung der Vorschubbewegung in X-Richtung verwendet werden, um die Bearbeitungskraft in optimalen Grenzen zu halten. Die Steuerung der Bewegung in X-Richtung in Abhängigkeit von den Druckmeßsignalen des Druckmeßelements 52 wird dabei der obenbeschriebenen drehwinkelabhängigen Steuerung der Werkzeugbewegung überlagert.

Da das vorstehend beschriebene Verfahren auf die Bearbeitung von mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotierenden Werkstücken ausgerichtet ist, eignet es sich besonders für die Anwendung in Bandschleifmaschinen mit mehreren Bandeinheiten, die gleichzeitig mehrere Nocken einer Nockenwelle bearbeiten. Das Verfahren erhöht die Leistungsfähigkeit einer derartigen Bandschleifmaschine, weil es die Erhöhung der durchschnittlichen Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone entlang der Umfangskontur des Werkstücks und damit eine Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Werkstücks erlaubt, ohne daß die Qualität des Schleifergebnisses Einbußen erleidet. Gleichzeitig erlaubt das Verfahren eine Berücksichtigung diverser Werkstückparameter wie unterschiedliches Schleifaufmaß und unterschiedlicher Materialeigenschaften entlang dem Umfang des Werkstücks in der individuellen Steuerung der Relativbewegungen zwischen Werkstück und Schleifwerkzeug, so daß auch unter schwierigen Schleifbedingungen optimale Ergebnisse erzielt werden können.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Schleifen von unrundern Werkstücken, insbesondere von Nocken einer Nockenwelle, bei dem das Werkstück um eine Werkstückachse gedreht wird, ein Schleifwerkzeug in einer Kontaktzone in spanabhebenden Kontakt mit einer Umfangsfläche des Werkstücks gebracht wird und das Schleifwerkzeug und das Werkstück zur Erzeugung einer gewünschten Werkstückkontur abhängig von der Winkelposition des Werkstücks in einer ersten Richtung quer zur Werkstückachse relativ zueinander bewegt werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück mit im wesentlichen konstanter Winkelgeschwindigkeit gedreht wird und daß das Werkzeug und das Werkstück zusätzlich in einer quer zur Werkstückachse und zur ersten Richtung verlaufenden zweiten Richtung relativ zueinander bewegt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone entlang der Umfangsfläche des Werkstücks durch eine Steuerung der Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück in der ersten und der zweiten Richtung in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Werkstücks gesteuert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück in der ersten und der zweiten Richtung in Abhängigkeit von dem Drehwinkel des Werkstücks im Sinne wenigstens 5  
angenähert konstanter Bahngeschwindigkeit der Kontaktzone entlang der Umfangsfläche des Werkstücks gesteuert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung von 10  
Schleifwerkzeug und Werkstück in der ersten und der zweiten Richtung in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Werkstücks so gesteuert wird, daß die Kontaktzonenbewegung entlang der Werkstück-  
umfangsfläche einem vorgegebenen Geschwindig- 15  
keitsprofil folgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung von Schleifwerkzeug und Werkstück in der ersten 20  
und zweiten Richtung in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Werkstücks, dem Aufmaß, dem Werkstückmaterial und/oder weiteren Parametern im Sinne eines wenigstens angenähert konstanten  
Zeitspannungsvolumens gesteuert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 25  
dadurch gekennzeichnet, daß ein Werkstück mit mehreren axial zueinander versetzten unrunder Abschnitten mit im wesentlichen konstanter Geschwindigkeit um seine Achse gedreht wird, daß  
wenigstens zwei der unrunder Werkstückabschnitte 30  
jeweils mit einem Schleifwerkzeug in spanabhebenden Kontakt gebracht werden und daß die Schleifwerkzeuge zur individuellen Beeinflussung der Geschwindigkeit der Kontaktzonenbewegung entlang den Umfangsflächen der Werkstücke unab- 35  
hängig voneinander in der ersten und der zweiten Richtung gesteuert bewegt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, 40  
dadurch gekennzeichnet, daß die Andruckkraft des Schleifwerkzeugs am Werkstück überwacht und/oder begrenzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, 45  
dadurch gekennzeichnet, daß die Andruckkraft des Schleifwerkzeugs am Werkstück gemessen und ein entsprechendes Meßsignal erzeugt wird und daß die Bewegung des Schleifwerkzeugs in der ersten 50  
Richtung in Abhängigkeit von dem Meßsignal im Sinne einer Optimierung der Andruckkraft beeinflußt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, 55  
dadurch gekennzeichnet, daß der vom Drehwinkel des Werkstücks abhängigen Bewegung des Schleifwerkzeugs in der ersten Richtung eine Zustellbewegung des Schleifwerkzeugs auf das Werkstück zu überlagert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, 60  
dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegung des Schleifwerkzeugs in der zweiten Richtung wenigstens während einer Schlichtphase des Schleifprozesses in Abhängigkeit von der Winkellage des Werkstücks so gesteuert wird, daß die Kontaktzone relativ zum Schleifwerkzeug ortsfest oder in einem eng begrenzten Winkelbereich des Werkzeugs 65  
gehalten wird.
11. Vorrichtung zum Schleifen unrunder Konturen an rotierenden Werkstücken, insbesondere zum Schleifen der Nocken einer Nockenwelle, mit einer Werkstückaufnahme (2) mit Mitteln (4) zum bear-

- beitungsgerechten Halten und Drehen des Werkstücks (8) um eine erste Maschinenachse (C-Achse), einer Schleifeinheit (3, 27a, b) mit einem umlaufenden Schleifwerkzeug (15), Drehantrieben (12, 16) für die Drehung des Werkstücks und die Umlaufbewegung des Schleifwerkzeugs, ersten, quer zur ersten Maschinenachse in Richtung einer zweiten Maschinenachse (X-Achse) verlaufenden Führungen (23), ersten Antriebsmitteln (22, 32) für die Relativbewegung von Werkstückaufnahme und Schleifwerkzeug entlang den ersten Führungen und einer Steueranordnung (11), welche die Antriebe (12, 22, 32) im Sinne einer gewünschten Werkstückkontur erzeugenden Relativbewegung von Werkstück und Schleifwerkzeug steuernd ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß zweite Führungsmittel (24, 31, 33) für Relativbewegungen von Werkstückaufnahme (2) und Schleifeinheit (3, 27a, b) in einer quer zur ersten und zweiten Maschinenachse (C-Achse, X-Achse) verlaufenden dritten Maschinenachse (Y-Achse) vorgesehen sind, daß zweite Antriebsmittel (26, 36) zum Bewegen von Werkstückaufnahme und Schleifeinheit relativ zueinander entlang den zweiten Führungen vorgesehen sind und daß die zweiten Antriebsmittel mit der Steueranordnung (11) verbunden und separat steuerbar sind.
12. Schleifmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Werkstückdrehantrieb (12) das Werkstück (8) mit wenigstens angenähert konstanter Winkelgeschwindigkeit um seine Achse (C-Achse) drehend ausgebildet und gesteuert ist.
13. Schleifmaschine nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß Meßmittel zum Erfassen der augenblicklichen Winkellage des Werkstücks (8) bei der Drehung und zum Erzeugen entsprechender Winkelsignale vorgesehen sind.
14. Schleifmaschine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Steueranordnung (11) das erste und das zweite Antriebsmittel (22, 32; 26, 36) in Abhängigkeit von den Winkelsignalen im Sinne der Bewegung der Kontaktzone (K) von Schleifwerkzeug (15) und Werkstück (8) mit einer vorgegebenen Bahngeschwindigkeit entlang der Umfangskontur des Werkstücks steuernd ausgebildet ist.
15. Schleifmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Schleifwerkzeug (15) ein über ein Stützelement (18) bewegtes Schleifband (17) vorgesehen ist.
16. Schleifmaschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Stützelement (18) in zwei quer zueinander verlaufenden Richtungen (X-Achse, Y-Achse) quer zur Drehachse (C-Achse) des Werkstücks (8) bewegbar ist.
17. Schleifmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Schleifwerkzeug (15) eine an einem Schleifkopf (27a, b) gelagerte rotierende Schleifscheibe (28a, b) vorgesehen ist und daß der Schleifkopf in zwei quer zueinander verlaufenden Richtungen (X-Achse, Y-Achse) quer zur Drehachse (C-Achse) des Werkstücks (8) bewegbar ist.
18. Schleifmaschine nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Maschinenachsen (C, X, Y) senkrecht zueinander verlaufen.
19. Maschine nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Schleifwerkzeug (15) an einem Werkzeughalter (38) angeordnet ist



und daß der Werkzeughalter eine Spanneinrichtung (41) zur Begrenzung der Andruckkraft des Schleifwerkzeugs am Werkstück (8) aufweist.

20. Maschine nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Spanneinrichtung (41) ein das Schleifwerkzeug (15) mit einer Vorspannkraft in einer vorgegebenen Position relativ zum Werkzeughalter (38) haltendes Kraftelement (44) aufweist und daß bei einer Überschreitung der Vorspannkraft durch die Andruckkraft gegen die Vorspannkraft des Kraftelements eine Entlastungsbewegung des Schleifwerkzeugs (15) relativ zum Werkzeughalter (38) im Sinne einer Reduzierung der Andruckkraft erfolgt.

21. Maschine nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung (22, 43, 47, 49, 54) zum Dämpfen der Entlastungsbewegung vorgesehen ist.

22. Maschine nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Dämpfungseinrichtung eine Kolben-Zylinder-Einheit (42, 43) mit einem ein flüssiges oder gasförmiges Medium enthaltenden Zylindervolumen (43) aufweist, daß das Schleifwerkzeug (15) an einem Kolben (42) der Kolben-Zylinder-Einheit angeordnet und relativ zum Werkzeughalter (38) bewegbar ist, daß das Zylindervolumen (43) über eine Verbindungsleitung (54) mit einem Ausweichvolumen (49) in Verbindung steht und daß bei Bewegungen des Kolbens (42) infolge von Bewegungen des Werkzeugs (15) relativ zum Werkzeughalter (38) Dämpfungsmedium aus dem Zylindervolumen in das Ausweichvolumen verdrängt wird und umgekehrt.

23. Maschine nach einem der Ansprüche 11 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß in Richtung der C-Achse des Werkstücks (8) nebeneinander mehrere Schleifeinheiten (3, 27) angeordnet sind und daß die Schleifwerkzeuge (15) der Schleifeinheiten zum gleichzeitigen Schleifen mehrerer Werkstückabschnitte (8a, 8b) eines Werkstücks (8) in Abhängigkeit von der Winkellage der Werkstückabschnitte im Sinne jeweils vorgegebener Kontaktzonenbewegungen am Werkstückumfang gleichzeitig separat in den Maschinenachsen X und Y bewegbar sind.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

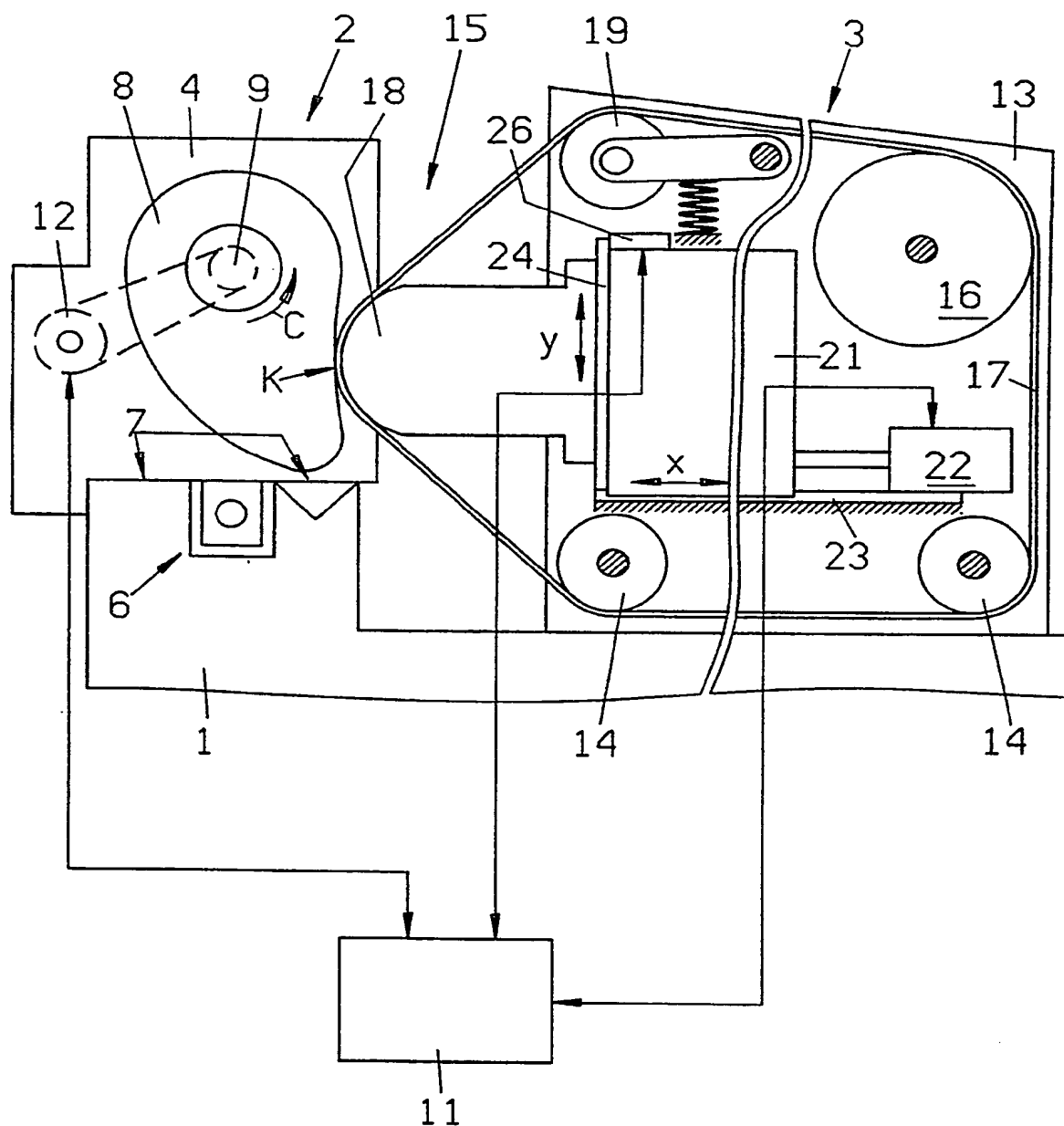


Fig.1

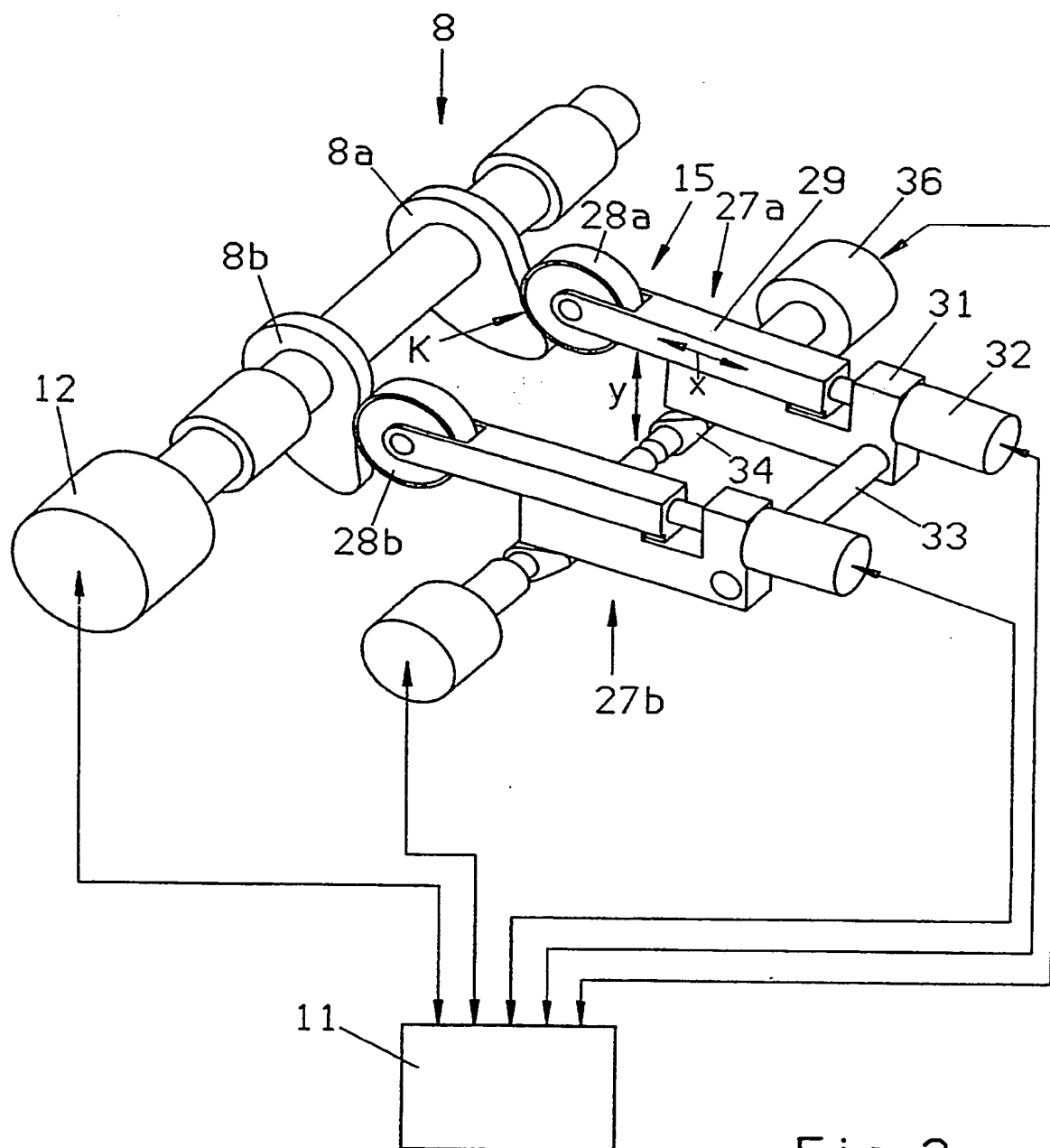


Fig. 2

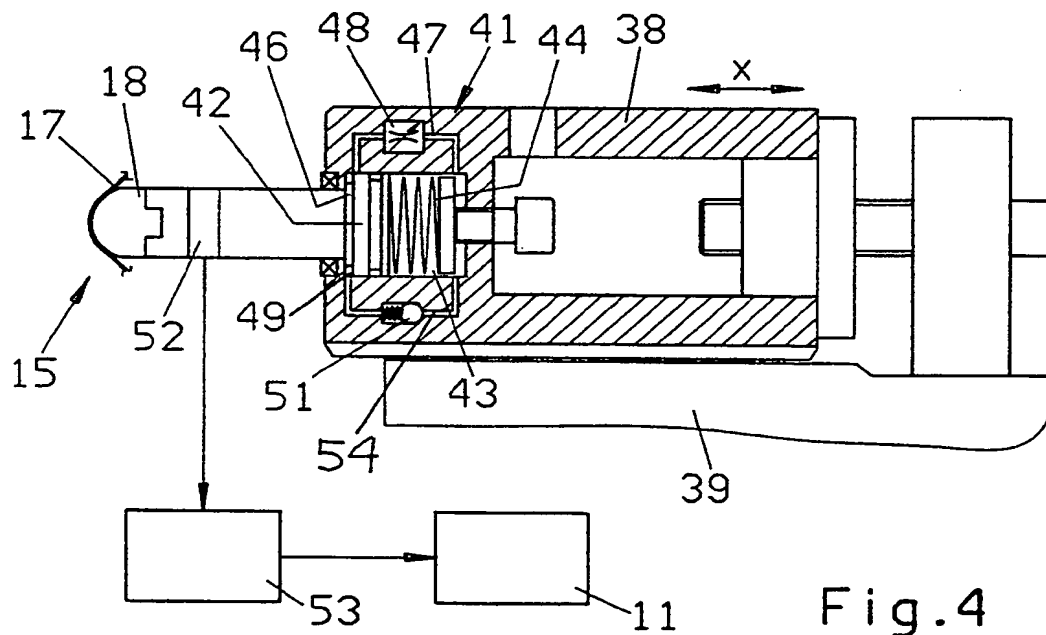
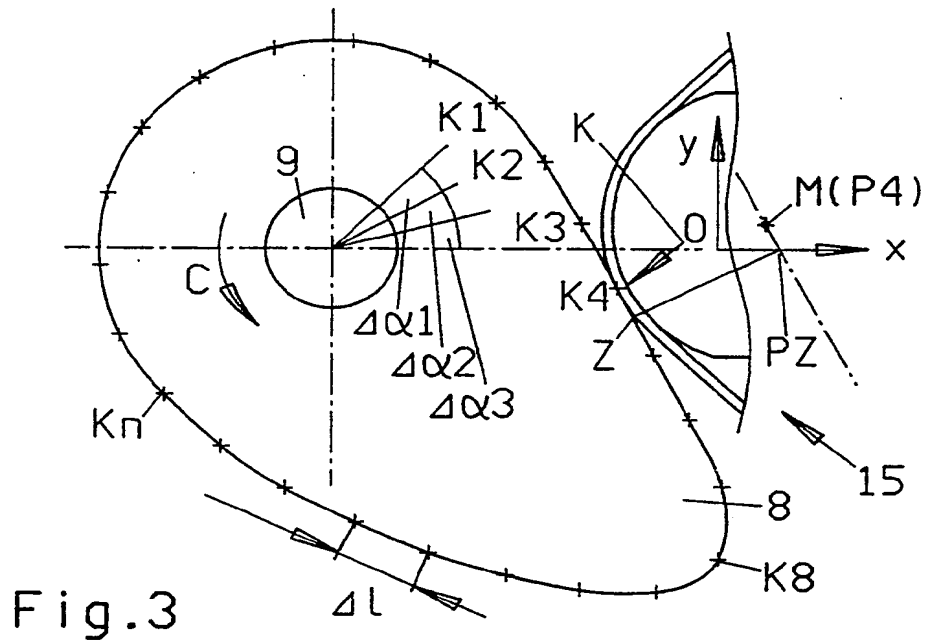


Fig.3a

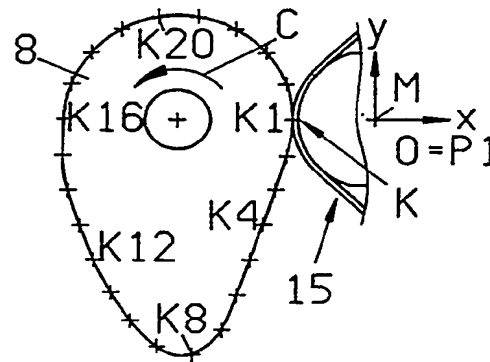


Fig.3b

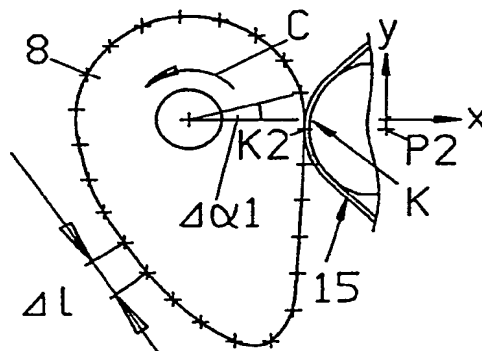
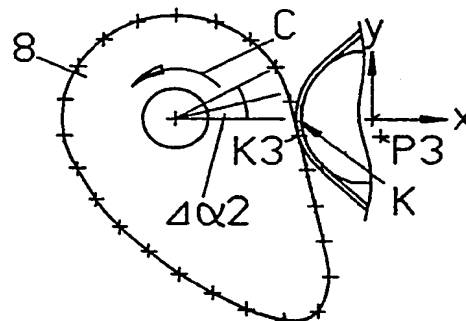


Fig.3c



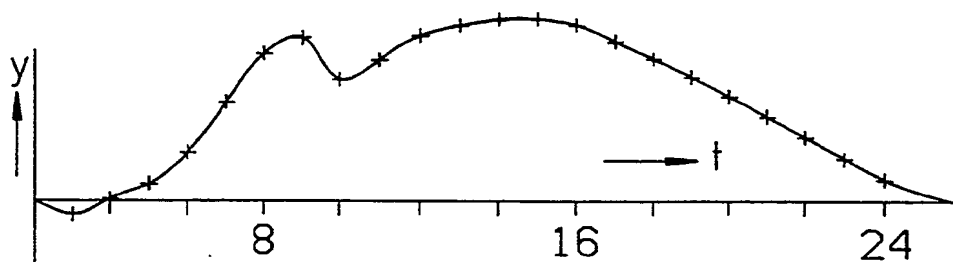


Fig. 3d

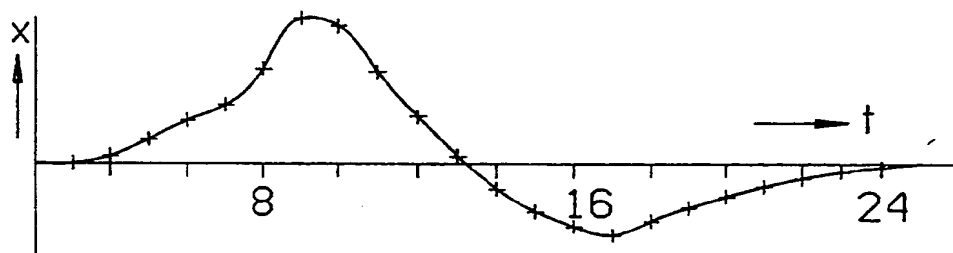
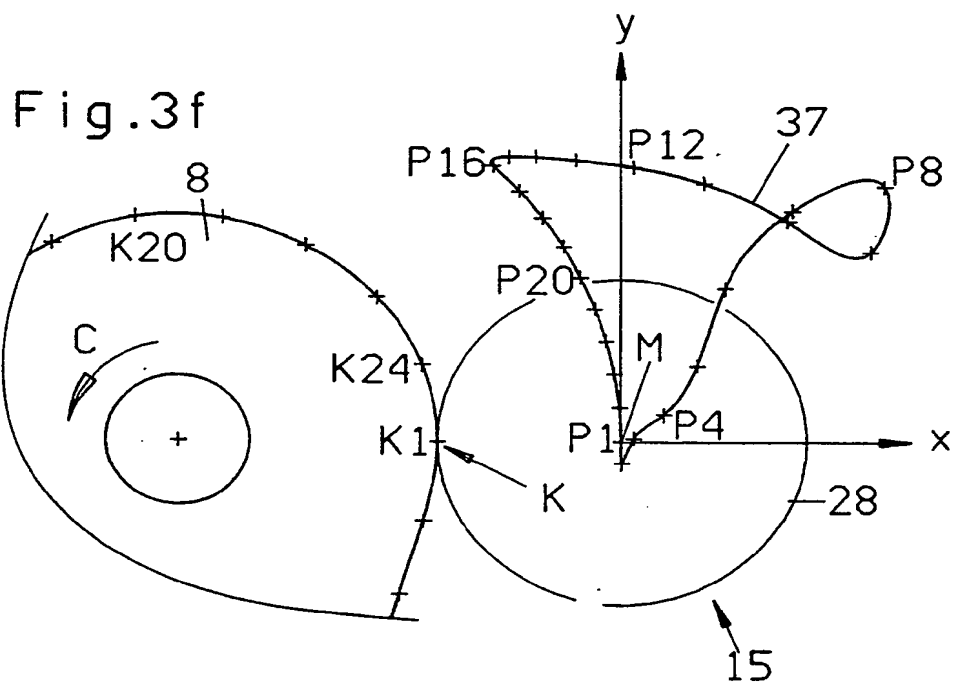


Fig. 3e



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**